(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 538 402**

(51) Int. Cl.:

G01C 9/12 (2006.01)
G01C 9/16 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.05.2008** **E 08789961 (3)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.02.2015** **EP 2283313**

(54) Título: **Dispositivo electromecánico para medir la inclinación de un plano de apoyo con elevada resolución, elevada exactitud y baja sensibilidad a perturbaciones externas**

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
19.06.2015

(73) Titular/es:

MICROGATE S.R.L. (100.0%)
Via Stradivari 4
39100 Bolzano, IT

(72) Inventor/es:

BIASI, ROBERTO y
PESCOLLER, DIETRICH

(74) Agente/Representante:

BELTRÁN, Pedro

ES 2 538 402 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Dispositivo electromecánico para medir la inclinación de un plano de apoyo con elevada resolución, elevada exactitud y baja sensibilidad a perturbaciones externas.

Campo técnico

La presente invención hace referencia a un dispositivo electromecánico para medir la inclinación de un plano de apoyo con elevada resolución, elevada exactitud y baja sensibilidad a perturbaciones externas, tal como por ejemplo perturbaciones magnéticas o térmicas o aceleraciones en el plano, etcétera.

Estado de la técnica

Actualmente, dispositivos conocidos, diseñados para medir la inclinación de un plano de apoyo y/o similares y conocidos comúnmente como inclinómetros están disponibles comercialmente.

Más precisamente, los principales campos de uso de tales tipos de dispositivo pueden ser los siguientes:

- corrección metrológica de sistemas de objetivos que requieren precisión en términos absolutos, tales como por ejemplo telescopios;
- control de la estabilidad del suelo, tal como por ejemplo para predecir corrimientos de tierra;
- control de estructuras civiles, tales como por ejemplo monumentos;
- control geodésico en regiones afectadas por fenómenos volcánicos o de bradiseísmo;
- análisis dinámicos de estructuras civiles.

Los dispositivos conocidos están basados en el clásico nivel de burbuja, en el que la burbuja de aire normalmente está sustituida por un electrolito y la medición ocurre por medios electrónicos, permitiendo un elevado grado de resolución y exactitud.

Estos tipos de dispositivos conocidos no están exentos de inconvenientes, los cuales incluyen el hecho de que si el plano cuya inclinación ha de ser medida está sometido a movimientos horizontales, son incapaces de distinguir entre inclinación y aceleraciones horizontales orientadas en ángulos rectos al vector de gravedad.

Este problema ocurre particularmente en el uso de sistemas de objetivos, tales como por ejemplo telescopios.

En tales aplicaciones, los tipos de dispositivos conocidos están colocados típicamente en la plataforma azimut y, durante los rápidos movimientos de selección de objetivos de telescopios, están sometidos a grandes aceleraciones horizontales que provocan que la medición no sea fiable.

Además, tales aceleraciones horizontales pueden llevar también a la saturación del dispositivo, impidiendo que realice la medición.

Otro inconveniente de los tipos de dispositivos conocidos consiste en que son dinámicamente lentos si el inclinómetro es llevado a saturación como consecuencia de elevadas inclinaciones.

Los tiempos de reajuste para realizar una lectura adecuada de tales dispositivos pueden alcanzar incluso varios minutos. Tales tiempos largos pueden ocurrir como consecuencia de la saturación del dispositivo que puede conllevar la inmersión total de los detectores en el líquido que está presente dentro del dispositivo.

Para permitir al sistema asentarse de nuevo y permitir al detector estar completamente seco, es inevitablemente necesario permitir que pase algún tiempo.

US-3,983,6356 muestra un sistema de control hidráulico de nivel fluídico en el que un péndulo invertido es utilizado en conjunción con dos sensores de proximidad para proveer una señal de salida proporcional a la desviación angular.

US-A1-2002/166756 muestra un sensor de inclinación que utiliza un péndulo invertido.

El objetivo de la presente invención es proveer un dispositivo que permita mediciones de la inclinación de un plano de apoyo con una elevada resolución, elevada exactitud y baja sensibilidad a

perturbaciones externas tales como por ejemplo perturbaciones magnéticas o térmicas o aceleraciones en el plano.

Dentro de este objetivo, un objeto de la presente invención es proveer un dispositivo que sea dinámicamente rápido.

Otro objeto de la presente invención es proveer un dispositivo que sea altamente fiable, relativamente simple de proveer y con costes competitivos.

Este objetivo y estos y otros objetos que resultarán aparentes de mejor modo a continuación se consiguen mediante un dispositivo electromecánico para medir la inclinación de un plano de apoyo con elevada resolución, elevada exactitud y baja sensibilidad a perturbaciones externas, tal y como se define en la reivindicación 1.

Otras características y ventajas de la invención resultarán aparentes de mejor modo a partir de la descripción de un ejemplo de realización preferido pero no exclusivo de un dispositivo electromecánico para medir la inclinación de un plano de apoyo con elevada resolución, elevada exactitud y baja sensibilidad a perturbaciones externas, según la presente invención, ilustrada mediante ejemplo no limitador en los dibujos que acompañan, en los que:

la figura 1 es un diagrama esquemático de un dispositivo según la presente invención;

la figura 2 es una representación esquemática del péndulo invertido según la presente invención;

la figura 3 es una representación esquemática del péndulo equilibrado según la presente invención.

Con referencia a las figuras, el dispositivo electromecánico para medir la inclinación del plano de apoyo con elevada resolución, elevada exactitud y baja sensibilidad a perturbaciones externas, generalmente designado por el número de referencia 1, comprende un primer sistema de péndulo electromecánico 2 (con un punto fijo designado por el número de referencia 1000), controlado en un bucle cerrado para medir las rotaciones estáticas de un péndulo invertido 3 pivotado a una estructura de soporte 4 que puede estar asociada con el plano de apoyo 5 cuya inclinación ha de ser medida, respecto de una posición de comienzo designada por 5a, y un segundo sistema de péndulo electromecánico 6 (con un punto fijo designado por el número de referencia 1000), también controlado en un bucle cerrado y adaptado para medir las rotaciones dinámicas de un péndulo equilibrado 7 pivotado a la estructura de soporte 4.

La inclinación del plano de apoyo 5 está representada por el grado de libertad O_1.

La medición de las rotaciones estáticas del péndulo invertido 3, representada por el grado de libertad O_2, se realiza midiendo el par mecánico requerido para mantener al péndulo invertido 3 en la posición neutral, es decir, sustancialmente perpendicular al plano de apoyo 5, mediante primeros medios motor que están asociados con el péndulo invertido 3 y actúan allí como una función de su desviación angular de la posición neutral.

Esta desviación angular es medida por primeros medios de sensor de posición 8 asociados con el péndulo invertido 3.

El par requerido para mantener el péndulo invertido 3 en la posición neutral es designado por el vector M_c.

La medición de las rotaciones dinámicas del péndulo equilibrado 7, representada por el grado de libertad O_3, es realizada mediante segundos medios sensores de posición 9 que están asociados con el péndulo equilibrado 7 e interactúan con segundos medios motor que están también asociados con el péndulo equilibrado 7.

En el ejemplo de realización ilustrado, los primeros medios motor y los segundos medios motor respectivamente comprenden motores electromagnéticos 10 y 11, cada uno de los cuales comprende un actuador VCM 12 movido por un controlador 13.

Tanto los primeros medios sensores de posición 8 como los segundos medios de posición 9, para el cierre del correspondiente bucle de control, pueden comprender un par de sensores capacitivos que operan diferencialmente.

La elección de motores electromecánicos como actuadores y de sensores capacitivos como sensores emana de una elección técnica específica que no es vinculante en modo alguno.

Las mediciones de las rotaciones estáticas y dinámicas de los dos péndulos 3 y 7, medidas respectivamente por los dos sistemas electromecánicos 2 y 6, son procesadas por medios de procesamiento de datos 14 que están asociados con los dos sistemas electromecánicos para calcular la inclinación O_1.

Tal y como se explicará con mayor detalle a continuación, con el fin de limpiar de la medición de las rotaciones estáticas del péndulo invertido 3 las rotaciones dinámicas que están presentes también en el péndulo invertido 3, se provee un filtro de paso bajo 15, el cual está interpuesto entre la salida del primer sistema electromecánico 2 y los medios de procesamiento de datos 14 con el fin de filtrar, con una frecuencia de corte preestablecida, las mediciones hechas por el primer sistema electromecánico 2.

Preferiblemente, la frecuencia de corte es igual a 0.5Hz.

Puesto que la cuantificación de las rotaciones estáticas y rotaciones dinámicas se realiza midiendo respectivamente un par mecánico y una desviación angular, están provistos medios de medición de conversión 16 que se interponen entre el segundo sistema electromecánico 6 y los medios de procesamiento de datos 14 para convertir la medición de la rotación dinámica del péndulo equilibrado 7 en un formato que sea compatible con la medición de la rotación estática del péndulo invertido 2.

Con el fin de evitar errores en las mediciones de las rotaciones estáticas y dinámicas de los dos péndulos 3 y 7 causados por la presencia de cualquier histéresis relacionada con el tipo de bisagra mecánica que puede usarse para proveer el pivotamiento de los dos péndulos 3 y 7 a la estructura de soporte 4, ambos péndulos 3 y 7 se obtienen monolíticamente con la estructura de soporte 4.

El pivotamiento está provisto interponiendo entre el péndulo siendo considerado, 3 o 7, y la estructura de soporte 4 una porción de material que es lo bastante flexible elásticamente para proveer un acoplamiento de bisagra.

El material que puede ser utilizado para proveer los dos péndulos 3 y 7 y la estructura de soporte 4 normalmente es titanio.

Otros materiales, tales como por ejemplo aluminio, acero y materiales sinterizados, pueden utilizarse como sustitución del titanio según la aplicación específica.

La operación del dispositivo 1 según la invención es como sigue.

Con referencia a la figura 2, la ecuación de estado que describe el péndulo invertido 3 es la siguiente:

$$J*O_2^{II} = -k*O_2 + 3*g*1\ (O_1 + O_2) + M_c$$

En donde:

- J es el momento de inercia del péndulo invertido 3;
- O_2 es el ángulo del péndulo respecto de su posición cero, tal ángulo es adquirido mediante los sensores capacitivos;
- k es la constante elástica de la bisagra;
- m es la masa del péndulo invertido 3;
- g es la aceleración gravitacional;
- 1 es la distancia entre el centro de gravedad y la bisagra;
- O_1 es la inclinación del plano de apoyo 5;
- M_c es el par generado por el motor electromagnético asociado con el péndulo invertido 3.

Asumiendo desviaciones angulares que son lo bastante pequeñas como para aproximar el seno del ángulo con dicho ángulo y considerando que el ángulo O_2 es mantenido igual a cero mediante el servocontrolador 13 asociado con el péndulo invertido 3, el ángulo O_1 es igual a:

$$O_1 = -M_c / (m*g*1)$$

Por lo tanto es posible determinar el ángulo O_1 conociendo el par mecánico M_c, que obviamente puede ser medido, y los valores físicos del péndulo invertido 3.

Con referencia a la figura 1, el bloque que representa la función de transferencia del sistema descrito anteriormente es designado por el número de referencia 17 y tiene en entrada la medición del M_c mecánico y en salida la inclinación equivalente O_1 del plano de apoyo 5.

En otras palabras, el valor físico que lleva al conocimiento de la inclinación del plano es la fuerza requerida para mantener el péndulo invertido 3 centrado.

En cuanto al diseño del péndulo invertido 3, los siguientes comentarios han sido hechos: la función de transferencia entre el par M_c y el ángulo O_2 tiene un polo doble que oscila con su propia frecuencia determinada por la raíz de k/J.

Esta frecuencia apropiada del sistema deteriora el control y por lo tanto la medición.

Con el fin de evitar este problema, el péndulo es construido para hacer que la constante elástica k de la bisagra coincida con el producto de m*g*1.

Esto equivale a cancelar el par de contraste generado por la bisagra con el par generado por la fuerza de la gravedad que actúa sobre el centro de gravedad del péndulo invertido 3.

De esta manera, el servocontrolador 13 ya no ve una masa oscilante, sino que ve una masa pura y por lo tanto es capaz de mantener la posición del péndulo más perfectamente en el centro, mejorando además la resolución.

Con referencia a las figuras 1 y 3, el segundo sistema electromecánico 6, que comprende el péndulo equilibrado 7, está diseñado para obviar cualquier aceleración en el plano experimentado por el péndulo invertido 3 y por lo tanto afectando a las rotaciones de dicho péndulo.

Si el péndulo equilibrado 7 es sometido a una aceleración, las fuerzas que actúan en las masas del péndulo se descargan directamente sobre la bisagra y no ocurre movimiento alguno respecto de la estructura de soporte 4.

Si el plano de apoyo 5 sufre una rotación, el péndulo equilibrado 7 rota respecto de la estructura de apoyo 4, puesto que el péndulo equilibrado 7, debido a su inercia, no sigue instantáneamente la rotación de la estructura de apoyo 4.

El péndulo equilibrado 7 empieza a girar sólo debido al par que es transferido a la bisagra.

El ángulo O_3 que se forma entre el péndulo equilibrado 7 y la estructura de soporte 4 se convierte en la medición del instrumento, que es medida directamente por sensores capacitivos de los segundos medios sensores de posición 9.

Por lo tanto, después de una rotación el péndulo equilibrado 7 vuelve de nuevo a su posición de equilibrio, es decir, con el ángulo O_3 que es cero.

Esto señala que el segundo sistema electromecánico 6 es capaz de medir sólo rotaciones dinámicas y no estáticas.

Para evitar la transferencia de par al péndulo equilibrado 7, podría considerarse el uso de cojinetes en vez de la porción de material flexible que define el acoplamiento de bisagra.

Sin embargo, esta solución no es concebible puesto que no hay cojinetes que ofrezcan el nivel requerido de precisión e histéresis.

El servocontrolador 13 asociado con el péndulo equilibrado 7 está diseñado para retornar lentamente el péndulo equilibrado 7 siempre a la posición inicial.

La combinación de los dos sistemas electromecánicos 2 y 6 ofrece un dispositivo global 1 que tiene las características deseadas.

Como ya se ha señalado, y con referencia a la figura 1, la salida del primer sistema electromecánico 2 es filtrada por un filtro de paso bajo 15 con una frecuencia de corte generalmente igual a 0.5 Hz.

De esta manera, sólo la porción estática, que es apenas variable, es llevada desde el primer sistema electromecánico 2.

La porción dinámica es derivada exclusivamente del segundo sistema electromecánico 6.

La salida del segundo sistema electromecánico 6 no es filtrada con un filtro de paso alto, puesto que el controlador 13 asociado con el péndulo equilibrado 7 es configurado de tal manera como para tener una sensibilidad mayor, igual a 0.5 Hz.

La suma de las dos salidas de los dos sistemas electromecánicos 2 y 6, realizada por los medios de procesamiento de datos 14, ofrece la medición de la inclinación O_1 del plano de apoyo 5.

En la práctica se ha descubierto que el dispositivo electromecánico para medir la inclinación de un plano de apoyo según la invención consigue plenamente el objetivo y los objetos pretendidos, puesto que permite medir la inclinación de un plano de apoyo con elevada resolución, elevada exactitud y baja sensibilidad a perturbaciones externas.

Otra ventaja del dispositivo según la presente invención consiste en que la optimización de la respuesta dinámica ha sido conseguida mediante una limitación mecánica del recorrido máximo de los componentes de medición.

Otra ventaja del dispositivo según la presente invención consiste en que es completamente insensible a tensiones térmicas.

Otra ventaja del dispositivo según la presente invención consiste en que es totalmente insensible a campos magnéticos.

Otra ventaja del dispositivo según la presente invención consiste en que es extremadamente repetible debido a la ausencia de partes mecánicas afectadas por histéresis.

Otra ventaja del dispositivo según la presente invención consiste en que tiene una resolución conseguible de menos de un microradián con una gama de aproximadamente más o menos un miliradián.

El dispositivo concebido de este modo es susceptible de numerosas modificaciones y variaciones, todas ellas estando dentro del ámbito del concepto inventivo; todos los detalles pueden ser además reemplazados por otros elementos técnicamente equivalentes.

En la práctica, los materiales utilizados, así como las formas y dimensiones contingentes, pueden ser cualesquiera según los requisitos y el estado de la técnica.

Donde los elementos técnicos mencionados en cualquier reivindicación estén seguidos por signos de referencia, esos signos de referencia se han incluido con el único objetivo de aumentar la inteligibilidad de las reivindicaciones y de modo acorde, tales signos de referencia no tienen efecto limitador alguno sobre la interpretación de cada elemento identificado mediante ejemplo por tales signos de referencia.

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo electromecánico (1) para medir la inclinación de un plano de apoyo con elevada resolución, elevada exactitud y baja sensibilidad a perturbaciones externas, que comprende un primer sistema de péndulo electromecánico (2) controlado en un bucle cerrado para medir las rotaciones estáticas de un péndulo invertido (3) que está pivotado a una estructura de soporte (4) que puede asociarse con el plano de apoyo (5) cuya inclinación ha de ser medida midiendo el par mecánico requerido para mantener a dicho péndulo invertido (3) en una posición neutral, es decir, sustancialmente perpendicular a dicho plano de apoyo (5), mediante primeros medios motor (10) que están asociados con dicho péndulo invertido y actúan sobre él como una función de su desviación angular de dicha posición neutral medida por primeros medios sensores de posición (8) asociados con dicho péndulo invertido (3), y comprendiendo además un segundo sistema de péndulo electromecánico (6) que está controlado en un bucle cerrado para medir las rotaciones dinámicas de un péndulo equilibrado (7) que está pivotado a dicha estructura de soporte (4) mediante segundos medios sensores de posición (9) que están asociados con dicho péndulo equilibrado (7) e interactúan con segundos medios motor (11) que están asociados con dicho péndulo equilibrado (7).

2. El dispositivo según la reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que comprende medios de procesamiento de datos (14) que están asociados con dichos primer (2) y segundo (6) sistemas electromecánicos para calcular dicha inclinación.

3. El dispositivo según una o más de las anteriores reivindicaciones, caracterizado por el hecho de que dicho péndulo invertido (3) es obtenido monolíticamente con dicha estructura de soporte (4), con la interposición entre ellos de una primera porción de material que es lo bastante flexible elásticamente como para proveer un acoplamiento de bisagra.

4. El dispositivo según una o más de las anteriores reivindicaciones, caracterizado por el hecho de que dicho péndulo equilibrado (7) es obtenido monolíticamente con dicha estructura de soporte (4), con la interposición entre ellos de una segunda porción de material que es lo bastante flexible elásticamente como para proveer un acoplamiento de bisagra.

5. El dispositivo según una o más de las anteriores reivindicaciones, caracterizado por el hecho de que dichos primeros medios motor (10) comprenden primeros motores electromagnéticos.

6. El dispositivo según una o más de las anteriores reivindicaciones, caracterizado por el hecho de que dichos primeros medios sensores de posición (8) comprenden primeros sensores capacitivos.

7. El dispositivo según una o más de las anteriores reivindicaciones, caracterizado por el hecho de que segundos medios motor (11) comprenden segundos motores electromagnéticos.

8. El dispositivo según una o más de las anteriores reivindicaciones, caracterizado por el hecho de que dichos segundos medios sensores de posición (9) comprenden segundos sensores capacitivos.

9. El dispositivo según una o más de las anteriores reivindicaciones, caracterizado por el hecho de que comprende un filtro de paso bajo (15) que está interpuesto entre la salida de dicho primer sistema electromecánico (2) y dichos medios de procesamiento de datos (14) y está adaptado para filtrar con una frecuencia de corte preestablecida las mediciones realizadas por dicho primer sistema electromecánico (2).

10. El dispositivo según la reivindicación 9, caracterizado por el hecho de que dicha frecuencia de corte es preferiblemente igual a 0.5 Hz.

11. El dispositivo según una o más de las anteriores reivindicaciones, caracterizado por el hecho de que comprende medios de conversión de medición (16) que están interpuestos entre dicho segundo sistema electromecánico (6) y dichos medios de procesamiento de datos (14) para convertir la medición de dicha rotación dinámica de dicho péndulo equilibrado (7) en un formato que sea compatible con la medición de dicha rotación estática de dicho péndulo invertido (3).

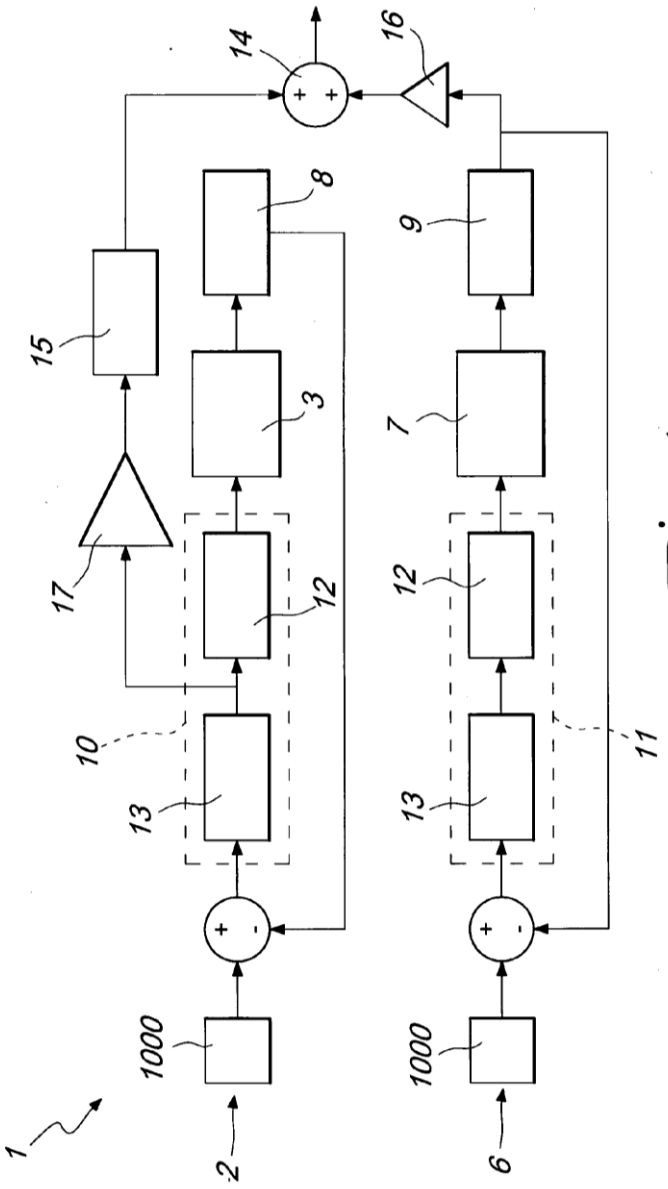

Fig. 1

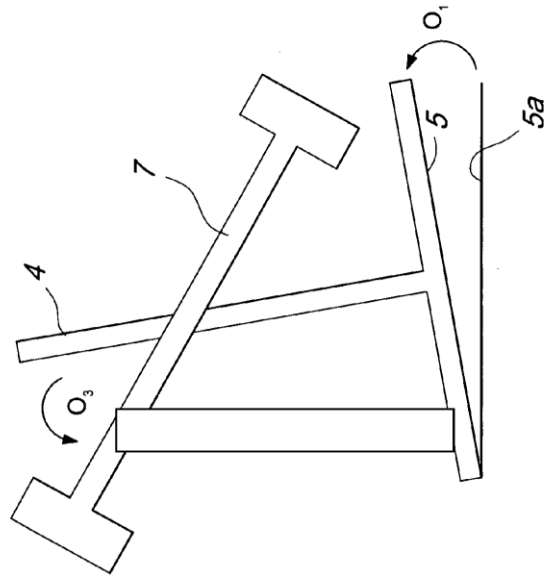

Fig. 3

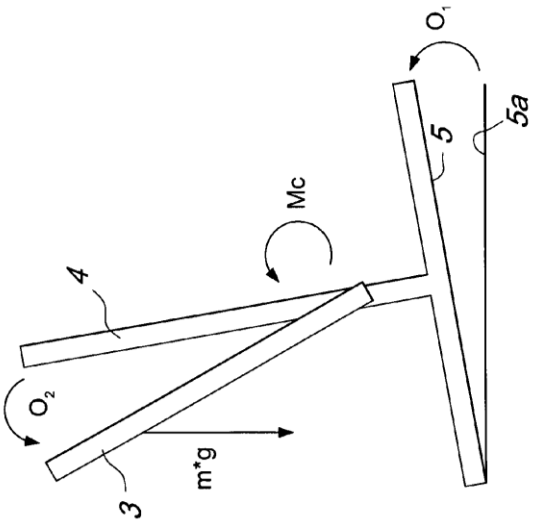

Fig. 2